

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Член-корреспондент АН СССР А. Б. ЧЕРНЫШЕВ, А. А. ПОМЕРАНЦЕВ
и И. Л. ФАРБЕРОВ

ФИЛЬТРАЦИЯ ГАЗА В РЕАГИРУЮЩЕЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

При фильтрационном методе подземной газификации газ движется в пористом угольном пласте, причем между газом (дутьем) и поверхностью угля действует диффузионный механизм реагирования. Методически целесообразно идти по пути расчленения процесса и рассматривать последовательно отдельные явления, из которых складывается этот процесс.

Пусть имеется слой, частицы которого химически реагируют на поверхности с газом, движущимся через этот слой. В этом случае каждые последующие порции газа проходят через „отработанную“ часть слоя, не реагируя с ним, что приводит к непрерывному продвижению зоны реакции от места ввода газового потока к его выходу. Нас будет интересовать скорость продвижения этой зоны. Описанное явление можно представить себе как „холодную“ модель процесса выгорания зольного топлива. Здесь гидродинамические явления при течении газа в пористой среде усложнены одним фактором, а именно, последовательным выключением („озолением“) реакционной поверхности. Схематически поставленной задаче отвечает рис. 1.

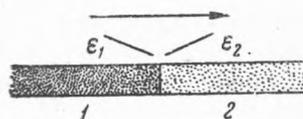


Рис. 1

Рассмотрим диффузионный процесс на каком-то участке слоя, приняв, что реакция между газом и слоем происходит по некоторому перемещающемуся фронту. На рис. 1 1 — область отработанных частиц, через которые газ проходит не реагируя; 2 — область свежих непрореагировавших частиц. На фронте реакции происходит скачкообразное изменение концентрации реагирующего газа.

Обозначим скачкообразное изменение концентрации

$$[\epsilon] = \epsilon_2 - \epsilon_1.$$

При этом считаем, что концентрация до реакции ϵ_1 равна начальной концентрации ϵ_0 ; концентрация после реакции ϵ_2 близка или равна нулю.

Пусть S^* — поверхность разрыва концентрации. Обозначим скорость передвижения элемента фронта разрыва $d\vec{S}^*$ через \vec{N} :

$$\vec{N} \equiv \vec{N}(x^*, y^*, z^*; t).$$

Рассмотрим бесконечно малый объем q вблизи поверхности разрыва S^* . Ясно, что для того, чтобы объем q оставался бесконечно малым, его необходимо передвигать со скоростью \vec{N} . Обозначим

скорость потока газа через \vec{v} , тогда скорость газа относительно фронта составит:

$$\vec{\theta} \equiv \vec{v} - \vec{N}.$$

Пусть $E \equiv \iiint_q \varepsilon dq$.

Тогда полное изменение концентрации:

$$\frac{dE}{dt} = \iiint_q \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} dq + \iint \varepsilon \vec{\theta} d\vec{S}.$$

Это изменение должно произойти вследствие: диффузии $\iint D \text{grad } \varepsilon d\vec{S}$ и скорости поверхностной реакции $\iint \vec{K} d\vec{S}$.

Следовательно, получаем:

$$\iiint_q \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} dq + \iint \varepsilon \vec{\theta} d\vec{S} = \iint D \text{grad } \varepsilon d\vec{S} + \iint \vec{K} d\vec{S}.$$

Переходя к пределу при $q \rightarrow 0$, получим:

$$\iint [\varepsilon \vec{\theta}] d\vec{S}^* = \iint [D \text{grad } \varepsilon + \vec{K}] d\vec{S}^*.$$

Отсюда:

$$[\varepsilon \theta_n] = \left[D \frac{d\varepsilon}{dn} \right] + [K_n].$$

Или, пренебрегая $D \frac{d\varepsilon}{dn}$ за малостью $\frac{d\varepsilon}{dn}$ в области до и после фронта реакции:

$$(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \theta_n \cong (K_{n2} - K_{n1}).$$

По принятому выше условию, $\varepsilon_2 \cong 0$, а следовательно, и $K_{n2} \cong 0$. Отсюда получаем: $-\varepsilon_1 \theta_n \cong K_{n1}$, или, заменяя θ_n :

$$v - N \cong \frac{K_{n1}}{\varepsilon_0} \text{ и } N \cong v - \frac{K_{n1}}{\varepsilon_0}.$$

Выражая v через расход Q , $v = aQ$, получим:

$$N \cong aQ - \frac{K_{n1}}{\varepsilon_0},$$

т. е. N является линейной функцией Q .

Экспериментальные исследования этого явления были выполнены К. Б. Трифоновой на модели, представляющей собой коробку из органического стекла, с внутренними размерами $0,5 \times 0,5 \times 0,045$ м. Передняя стенка модели была снабжена 9 патрубками для размещения подающих и отводящих „скважин“ в виде стеклянных трубочек диаметром 10 мм. В качестве пористой среды после ряда поисков были применены кусочки зеркального стекла размером 5—7 мм. Такой слой, будучи помещен в прозрачную модель, обеспечивает прекрасную видимость протекающих в модели явлений; кроме того, укладка слоя частиц некруглой формы по своей структуре, пожалуй, близко отвечает естественному пласту угля с крупной трещиноватостью. Слой дробленого стекла обрабатывался перед опытом раствором

крахмального клейстера и тщательно перемешивался; после стока избытка клейстера слой высушивался. Тем самым получался уже не инертный слой пористого материала, а слой частиц, способных к реагированию на поверхности. С этой целью сквозь слой продувался воздух (или азот), насыщенный парами иода, которые реагировали с крахмалом и давали синее окрашивание, имитируя образование „озоленной“ поверхности. Продвижение синего пятна характеризовало перемещение реакционной зоны по направлению потока дутья. Исходная концентрация паров иода в газовом потоке была во всех опытах одинаковой, что устанавливалось контрольными опытами по пропусканию замеренных количеств газа через титрованный раствор гипосульфита. Воздух от компрессора (или азот из баллона) пропускался через реометр и, насыщаясь в специальном сосуде парами иода, подавался с постоянной скоростью в „скважину“.

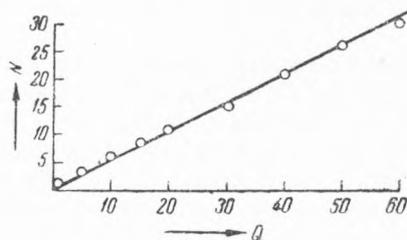


Рис. 2

Из другой „скважины“ воздух с концентрацией иода $\varepsilon_2=0$ выбрасывался в атмосферу. Для фиксации скорости передвижения фронта реакции применялась фотосъемка в проходящем свете. Фотографирование производилось через равные промежутки времени, при максимальной экспозиции для одного снимка не более 5—10 сек. В результате получались серии снимков, дающих последовательную картину продвижения фронта реакции от „дутьевой“ к „газоотводящей“ скважине. Сопоставление скорости продвижения фронта реакции для различных скоростей потока дутья в широком диапазоне (от 1 до 60 л/мин) показало, что скорость перемещения фронта реакции N пропорциональна расходу Q газового потока (рис. 2).

Энергетический институт
им. Г. М. Кржижановского
Академии Наук СССР

Поступило
14 III 1947